

10/068 852  
Feb 13 2004

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-305065

(43) 公開日 平成11年(1999)11月5日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 6/255

識別記号

F I

G 0 2 B 6/24

3 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 8 F D (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-131437

(22) 出願日 平成10年(1998) 4 月24日

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 田邊 明夫

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72) 発明者 内田 隆章

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

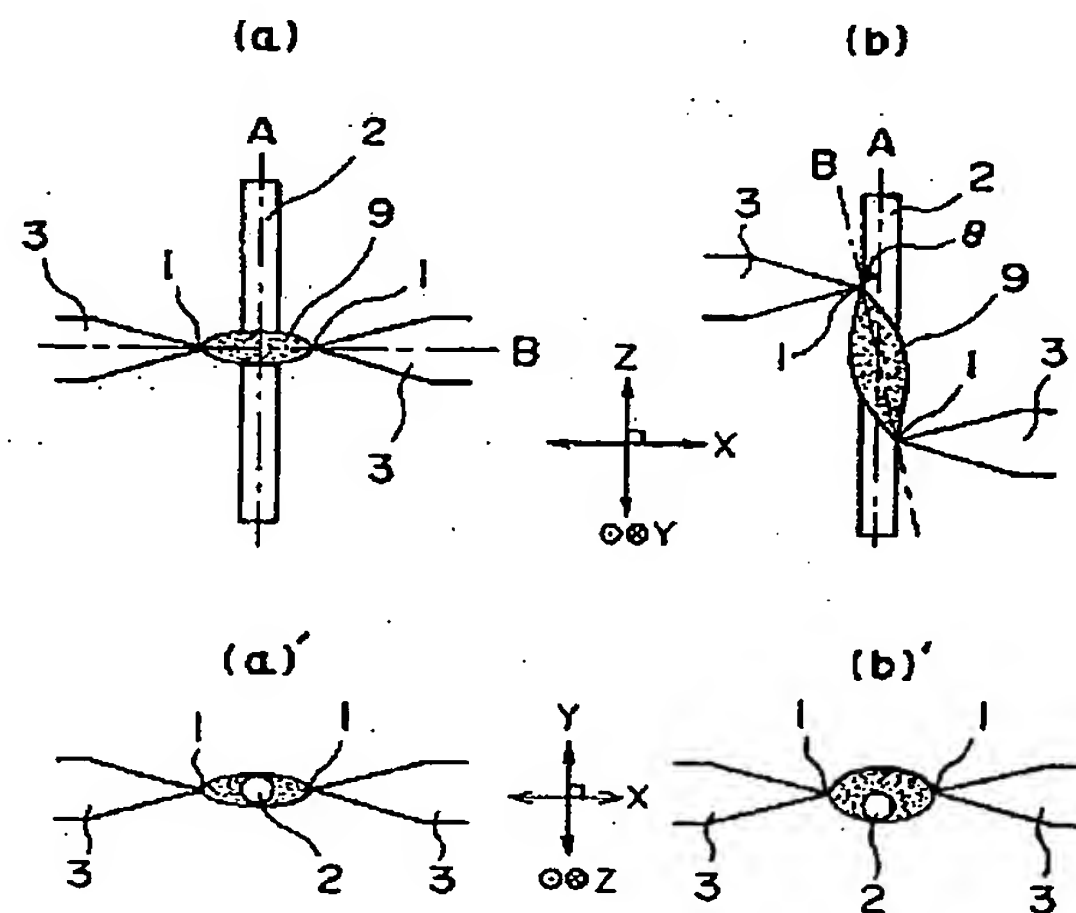
(74) 代理人 弁理士 五十嵐 清

(54) 【発明の名称】 光ファイバの融着接続方法

(57) 【要約】

【課題】 放電電極を用いてモードフィールド径が互いに異なる光ファイバ同士を低接続損失に融着接続する。

【解決手段】 第1の光ファイバ2の接続端面側と第2の光ファイバ2の接続端面側とを対向配置し、第1、第2の光ファイバ2の接続端面側に対する放電電極3から発生する高電圧を加えて、高電圧によって第1、第2の光ファイバ2の接続端面側を加熱溶融して接続する。第1、第2の光ファイバのモードフィールド径が互いに異なる場合に、例えば図2の(a)に示すように、放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度を直交させて融着接続した後、図2の(b)に示すように、前記直線Bと前記直線Aとの成す角度 $\theta$ を直角とは異なる角度になるようにして、直線Aと直線Bとを斜めに交差させ、光ファイバ2の加熱領域を拡げて加熱して光ファイバのコアドーパント拡散を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の光ファイバの接続端面側と第2の光ファイバの接続端面側とを対向配置し、該第1、第2の光ファイバの接続端面側に対する放電電極から発生する高電圧を加え該高電圧によって第1、第2の光ファイバの接続端面側を加熱溶解して接続する光ファイバの融着接続方法であって、前記放電電極先端間を結ぶ直線と前記第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線との成す角度が直角とは異なる角度になるように放電電極と第1、第2の光ファイバを配設して該放電電極から高電圧を発生させることを特徴とする光ファイバの融着接続方法。

【請求項2】 第1の光ファイバと第2の光ファイバは互いにモードフィールド径が異なる光ファイバとすることを特徴とする請求項1記載の光ファイバの融着接続方法。

【請求項3】 放電電極先端間を結ぶ直線と第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線との成す角度を可変することにより第1、第2の光ファイバの接続端面側の加熱領域と加熱温度分布を可変することを特徴とする請求項1又は請求項2記載の光ファイバの融着接続方法。

【請求項4】 第1の光ファイバの接続端面側に該第1の光ファイバとは異なるモードフィールド径の第2の光ファイバの接続端面側を対向配置し、該第1、第2の光ファイバの接続端面側に対する放電電極から発生する高電圧を加え該高電圧によって第1、第2の光ファイバの接続端面側を加熱溶解して接続する光ファイバの融着接続方法であって、前記放電電極先端間を結ぶ直線と前記第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線とを略直交させて該放電電極からの高電圧によって第1、第2の光ファイバの接続端面側を約0.1から約0.3mmの狭い加熱領域で加熱して融着接続した後、該放電電極先端間を結ぶ直線と前記第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線との成す角度を直角とは異なる角度に変更することによって第1、第2の光ファイバの接続端面側の加熱領域を広く変更して放電電極からの高電圧による追加加熱を行うことを特徴とする光ファイバの融着接続方法。

【請求項5】 放電電極先端間を結ぶ直線と前記第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線との成す角度を直角とは異なる角度に設定することによって第1、第2の光ファイバの接続端面側の加熱領域を約0.3mmよりも広く設定して放電電極からの高電圧による加熱を行うことを特徴とする請求項3記載の光ファイバの融着接続方法。

【請求項6】 第1、第2の光ファイバの各コア径をそれぞれ測定し、該測定結果に基づいて第1、第2の光ファイバの各モードフィールド径をそれぞれ推定し、該推定結果に基づき第1の光ファイバのモードフィールド径

と第2の光ファイバのモードフィールド径との差が予め定められたモードフィールド径差基準値よりも大きい時に請求項4又は請求項5記載の光ファイバの融着接続方法により第1の光ファイバと第2の光ファイバの融着接続を行うことを特徴とする光ファイバの融着接続方法。

【請求項7】 第1、第2の光ファイバの各コア径をそれぞれ測定し、該測定結果に基づいて第1、第2の光ファイバの各モードフィールド径をそれぞれ推定し、該推定結果に基づき第1の光ファイバのモードフィールド径と第2の光ファイバのモードフィールド径との差が予め定められたモードフィールド径差基準値よりも大きい時には第1、第2の光ファイバの各コア位置とクラッド位置をそれぞれ測定し、該測定結果に基づいて第1、第2の光ファイバのコア軸心が一致するように第1の光ファイバと第2の光ファイバを調心したときに生じる第1の光ファイバのクラッド軸心と第2の光ファイバのクラッド軸心とのずれ量を推定し該推定ずれ量が予め定められたずれ基準値よりも大きいときには請求項4記載の光ファイバの融着接続方法により第1の光ファイバと第2の光ファイバの融着接続を行い、前記推定ずれ量が前記ずれ基準値以下のときには請求項5記載の光ファイバの融着接続方法により第1の光ファイバと第2の光ファイバの融着接続を行うことを特徴とする光ファイバの融着接続方法。

【請求項8】 放電電極は先端が尖った棒状の電極とし、対の放電電極の軸心を互いに一致させ、かつ、該放電電極の先端を放電電極軸心から偏心させることにより該放電電極先端を結ぶ直線と第1、第2の光ファイバの接続端面を結ぶ直線との成す角度が直角とは異なる角度になるようにすることを特徴とする請求項1乃至請求項7のいずれか一つに記載の光ファイバの融着接続方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバを加熱溶解して接続する光ファイバの融着接続方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】2本の光ファイバ(第1の光ファイバと第2の光ファイバ)の先端(接続端面)を永久接合する方法として、第1の光ファイバの接続端面側と第2の光ファイバの接続端面側とを対向配置し、これら第1、第2の光ファイバの接続端面側に対する放電電極から発生する高電圧を加え、この高電圧によって第1、第2の光ファイバの接続端面側を加熱溶解して接続する光ファイバの融着接続方法が一般に用いられている。前記放電電極は、例えば円錐形状を呈した棒状の電極であり、その先端は尖っている。

【0003】この光ファイバ融着接続方法において、第1、第2の光ファイバの接続端面側を約0.1から約0.3mmの狭い加熱領域で加熱して溶解させる狭域加

熱と、第1、第2の光ファイバの接続端面側を約0.3 mmよりも広い加熱領域で加熱して熔融させる広域加熱とが目的に応じて使い分けられている。

【0004】狭域加熱は、例えば光ファイバのコアがクラッドに対して偏心している量、すなわち、コア偏心量が大きい光ファイバの融着接続に用いられている。それというのは、コア偏心量が大きい光ファイバを接続する場合に、互いのコア軸心を軸合わせするとクラッド軸心のずれが発生するため、光ファイバは熔融したガラスの表面張力によってクラッド軸心のずれが減少する方向に移動してしまい、結果としてコア軸心のずれが生じてしまうことになるが、ガラスの熔融部分の体積が増えるとクラッド移動量が増加するため、光ファイバの接続端面側を狭い加熱領域で熔融させることにより、光ファイバの表面張力による移動量を小さくする必要があるからである。

【0005】また、コア軸心を調心して光ファイバを調心する場合は、非常に低い接続損失が要求されることが多く、このような場合にも狭域加熱が用いられる。それというのは、光ファイバを加熱しているときにコアのドーパントがクラッドに溶け出して、局所的に光ファイバの屈折率構造が変化すると光損失が発生するが、この損失を押さえるためにも接続される光ファイバの接続端面近傍の狭い領域のみを加熱熔融することが好ましい。この点については、特開昭57-40216号広報に述べられている。

【0006】一方、広域加熱は、例えば多心光ファイバの融着接続などに用いられている。多心光ファイバの融着接続においては、個々の対向する光ファイバ同士をそれぞれコア調心して接続する装置は複雑で高価であるため、一般的には、例えば複数の各光ファイバを、光ファイバ固定台の表面側に通し加工された複数のV溝にそれぞれ挿入し、このV溝によって第1の光ファイバ群と第2の光ファイバ群とを調心するようにしている。そこで、V溝が多少ずれている場合でも、光ファイバの表面張力によって対向する光ファイバ同士が位置合わせされるように、光ファイバの表面張力を積極的に利用するため、上記コア調心の場合とは逆に、光ファイバの接続端面の広い範囲を加熱熔融して接続を行うのである。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ところで、融着接続する第1の光ファイバと第2の光ファイバのモードフィールド径が異なる場合、これら第1、第2の光ファイバを融着接続すると、接続部での急激なモードフィールド径変化のために光損失が生じる。この光損失を低減させる方法として、接続部を再加熱してコアドーパントを拡散させ、モードフィールド径の変化率を下げる方法が知られているが、この加熱領域が狭いとその効果が低く、加熱によるコアドーパントの拡散効果を十分に発揮できなかった。

【0008】そこで、特開平8-82721号広報に記載されているように、ガスバーナーで広い領域を加熱して、光ファイバの長手方向に緩やかにモードフィールド径が変化するように加工する方法がとられることもあるが、この方法では、光ファイバの加熱手段として、ガスバーナーを用いているために、制御信号として電気信号を用いる放電電極と異なり、例えば温度上昇と温度下降スピードが遅かったり、加熱温度を一定にするために行われるガスと空気の混合比の制御や流量の制御を行う制御が煩雑であったりして、光ファイバのコアドーパント拡散を行うための光加熱制御が容易ではなかった。

【0009】本発明は、上記従来の課題を解決するためになされたものであり、その目的は、例えばモードフィールド径が互いに異なる光ファイバ同士を、対の放電電極から発生する高電圧を用いて容易に、かつ、低接続損失に融着接続することができる光ファイバの融着接続方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は次のような構成をもって課題を解決するための手段としている。すなわち、本第1の発明は、第1の光ファイバの接続端面側と第2の光ファイバの接続端面側とを対向配置し、該第1、第2の光ファイバの接続端面側に対の放電電極から発生する高電圧を加え該高電圧によって第1、第2の光ファイバの接続端面側を加熱熔融して接続する光ファイバの融着接続方法であって、前記放電電極先端間を結ぶ直線と前記第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線との成す角度が直角とは異なる角度になるように放電電極と第1、第2の光ファイバを配設して該放電電極から高電圧を発生させる構成を持って課題を解決する手段としている。

【0011】また、本第2の発明は、上記本第1の発明の構成に加え、前記第1の光ファイバと第2の光ファイバは互いにモードフィールド径が異なる光ファイバとする構成を持って課題を解決する手段としている。

【0012】さらに、本第3の発明は、上記本第1または第2の発明の構成に加え、前記放電電極先端間を結ぶ直線と前記第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線との成す角度を可変することにより第1、第2の光ファイバの接続端面側の加熱領域と加熱温度分布を可変する構成を持って課題を解決する手段としている。

【0013】さらに、本第4の発明は、第1の光ファイバの接続端面側に該第1の光ファイバとは異なるモードフィールド径の第2の光ファイバの接続端面側を対向配置し、該第1、第2の光ファイバの接続端面側に対の放電電極から発生する高電圧を加え該高電圧によって第1、第2の光ファイバの接続端面側を加熱熔融して接続する光ファイバの融着接続方法であって、前記放電電極先端間を結ぶ直線と前記第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線とを略直交させて該放電電極から



の高電圧によって第1、第2の光ファイバの接続端面側を約0.1から約0.3mmの狭い加熱領域で加熱して融着接続した後、該放電電極先端間を結ぶ直線と前記第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線との成す角度を直角とは異なる角度に変更することによって第1、第2の光ファイバの接続端面側の加熱領域を広く変更して放電電極からの高電圧による追加加熱を行う構成を持って課題を解決する手段としている。

【0014】さらに、本第5の発明は、上記本第3の発明の構成に加え、前記放電電極先端間を結ぶ直線と前記第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線との成す角度を直角とは異なる角度に設定することによって第1、第2の光ファイバの接続端面側の加熱領域を約0.3mmよりも広く設定して放電電極からの高電圧による加熱を行う構成を持って課題を解決する手段としている。

【0015】さらに、本第6の発明は、第1、第2の光ファイバの各コア径をそれぞれ測定し、該測定結果に基づいて第1、第2の光ファイバの各モードフィールド径をそれぞれ推定し、該推定結果に基づき第1の光ファイバのモードフィールド径と第2の光ファイバのモードフィールド径との差が予め定められたモードフィールド径差基準値よりも大きい時に上記本第4または第5の発明の光ファイバの融着接続方法により第1の光ファイバと第2の光ファイバの融着接続を行う構成を持って課題を解決する手段としている。

【0016】さらに、本第7の発明は、第1、第2の光ファイバの各コア径をそれぞれ測定し、該測定結果に基づいて第1、第2の光ファイバの各モードフィールド径をそれぞれ推定し、該推定結果に基づき第1の光ファイバのモードフィールド径と第2の光ファイバのモードフィールド径との差が予め定められたモードフィールド径差基準値よりも大きい時には第1、第2の光ファイバの各コア位置とクラッド位置をそれぞれ測定し、該測定結果に基づいて第1、第2の光ファイバのコア軸心が一致するように第1の光ファイバと第2の光ファイバを調心したときに生じる第1の光ファイバのクラッド軸心と第2の光ファイバのクラッド軸心とのずれ量を推定し該推定ずれ量が予め定められたずれ基準値よりも大きいときには上記本第4の発明の光ファイバの融着接続方法により第1の光ファイバと第2の光ファイバの融着接続を行い、前記推定ずれ量が前記ずれ基準値以下のときには上記本第5の発明の光ファイバの融着接続方法により第1の光ファイバと第2の光ファイバの融着接続を行う構成を持って課題を解決する手段としている。

【0017】さらに、本第8の発明は、上記本第1乃至第7の発明のいずれか1つの構成に加え、前記放電電極は先端が尖った棒状の電極とし、対の放電電極の軸心は互いに略一致させ、かつ、該放電電極の先端を放電電極軸心から偏心させることにより該放電電極先端を結ぶ直

線と第1、第2の光ファイバの接続端面を結ぶ直線との成す角度が直角とは異なる角度になるようにする構成を持って課題を解決する手段としている。

【0018】上記構成の本発明において、例えば図2の(b)に示されるように、放電電極先端間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度が直角とは異なる角度 $\theta$ となるように、放電電極と第1、第2の光ファイバを配設して放電電極から高電圧を発生させるために、例えば同図の(a)に示すように、放電電極先端間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度が直角となるように、放電電極と第1、第2の光ファイバを配設して放電電極から高電圧を発生させるよりも光ファイバの広い領域を加熱することが可能となる。そのため、例えばモードフィールド径が互いに異なる第1、第2の光ファイバを融着接続する際に、光ファイバの加熱領域を広くすることにより、光ファイバのコアドーバントを光ファイバの長手方向に拡散させることが可能となり、それにより、接続損失の低減化が図られ、上記課題が解決される。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基いて説明する。図1には、本発明に係る光ファイバの融着接続方法を用いる光ファイバ融着接続機の一例が光ファイバ取り付け状態で示されている。なお、同図の(a)には、その平面図が、同図の(b)には、その正面図が、同図の(c)には、同図の(b)の中心線(A-A線)において切断した断面図がそれぞれ示されている。

【0020】これらの図に示されるように、この光ファイバ融着接続機は、基台6に直動ガイド5を介して設けられた2つの電極支持台4を有しており、電極支持台4にはそれぞれ、第1、第2の光ファイバ2に高電圧を加えて加熱する放電電極3が支持されて放電電極3は対を成している。放電電極3は棒状の電極であり、電極先端1側は先端が尖った円錐形状と成し、放電電極3の基端側は円筒形状と成している。また、前記直動ガイド5は、同図の(a)、(c)に示されるように、第1、第2の光ファイバ2に対して平行ではないように取り付けられている。

【0021】前記電極支持台4には、ラックギア8が取り付けられており、ラックギア8は、ピニオンギア7に接続され、ピニオンギア7には、図示されていないモーター等の駆動手段が接続されている。ピニオンギア7は前記モーターなどの駆動手段により、同図の(a)の矢印sに示されるように回転するようになっており、この回転により、前記ラックギア8がピニオンギア7と連動して作動し、電極支持台4および放電電極3は直動ガイド5に沿って矢印tの方向に移動するようになっている。

【0022】次に、この光ファイバ融着接続機を用いた光ファイバの融着接続方法の一実施形態例を説明する。

まず、周知の方法により、光ファイバの前処理を行い、モードフィールド径が互いに異なる第1、第2の光ファイバ2をその接続端面同士を対向させて、予め定められた接続端面間隔で光ファイバ融着接続機にセットする。次に、画像処理装置(図示せず)により、第1、第2の光ファイバ2のコア径を測定し、この測定結果に基づいて第1、第2の光ファイバ2のモードフィールド径をそれぞれ推定する。

【0023】そして、この推定結果に基づき、第1の光ファイバ2のモードフィールド径と第2の光ファイバ2のモードフィールド径との差が、予め定められたモードフィールド径差基準値(この値は、要求される接続損失値などに対応させて適宜定められるものである)以下のときには、第1、第2の光ファイバ2のコア調心を行った後、放電電極3の電極先端1間隔を狭く設定し、図2の(a)、(a)'に示されるように、放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度 $\theta$ を直角に設定することによって、前記狭域加熱の状態で行って光ファイバ2同士を融着接続する。

【0024】一方、前記モードフィールド径差が前記モードフィールド径差基準値よりも大きいときには、第1、第2の光ファイバ2のコア偏心量をそれぞれ測定し、この測定結果に基づいて第1、第2の光ファイバ2のコア軸心が一致するように第1の光ファイバ2と第2の光ファイバ2を調心したときに生じる第1の光ファイバ2のクラッド軸心と第2の光ファイバ2のクラッド軸心とのずれ量を推定する。

【0025】そして、この推定ずれ量が予め定められたずれ基準値(この値は、要求される接続損失値や前記モードフィールド径差などに対応させて適宜定められるものである)以下のときには、ピニオンギア7を回転させて、図2の(b)に示されるように、放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度 $\theta$ を直角とは異なる角度に設定することによって、放電領域9を広くし、第1、第2の光ファイバ2の接続端面側の加熱領域を約0.3mmよりも広く設定して、放電電極3からの高電圧による加熱を行う。なお、同図の(b)'には同図の(b)の状態のときの、光ファイバ2と放電領域との関係がXY平面上に示されており、光ファイバ2は放電領域の中心部よりも外周寄り加熱される。

【0026】放電によって発生するエネルギーの密度は、例えば特開昭61-179404号広報に記載されているように、放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線Bに近づくにつれて強くなり、なおかつ電極先端1に近づくにつれて強くなる。すなわち、図3の(a)に示すように、電極先端1を中心とした同心円状の等エネルギー線を描くことができ、線C-C、線D-D上のエネルギー密度分布は、同図の(b)に示すようになる。

【0027】また、図4の(a)には、放電電極3の電極先端1を結ぶ直線Bを光ファイバ2の接続端面軸心を結ぶ直線Aに対して直交させた場合の、XZ平面上の等エネルギー線分布が示されており、同図の(b)には、放電電極3の電極先端1を結ぶ直線Bを光ファイバ2の接続端面軸心を結ぶ直線Aと平行にした場合の、YZ平面上の等エネルギー線分布が示されている。

【0028】光ファイバ2の加熱領域における光ファイバ長手方向、すなわち、光ファイバ2の光軸Z方向の温度分布は、直線AをZ方向に横切る等エネルギー線の分布密度に対応するが、同図の(a)に示されるように、放電電極3の電極先端1を結ぶ直線Bと光ファイバ2の接続端面軸心を結ぶ直線Aが直交する場合は、直線Aを横切る等エネルギー線の密度が非常に大きいことに比べ、同図の(b)に示されるように、放電電極3の電極先端1を結ぶ直線Bを光ファイバ2の接続端面軸心を結ぶ直線Aが平行になる場合は、直線Aを等エネルギー線がほとんど横切ることではない。すなわち、これらの図から明らかなように、放電電極3の電極先端1を結ぶ直線Bを光ファイバ2の接続端面軸心を結ぶ直線Aを平行に近づけるほど、光ファイバの放電電極3による加熱領域の温度変化分布を緩やかにすることができる。

【0029】また、前記の如く、第1、第2の光ファイバ2のコア軸心が一致するように第1の光ファイバ2と第2の光ファイバ2を調心したときに生じる第1の光ファイバ2のクラッド軸心と第2の光ファイバ2のクラッド軸心とのずれ量を推定した結果、この推定ずれ量が前記ずれ量基準値よりも大きいときには、光ファイバの溶融中に発生する表面張力を考慮して、以下の方法により第1、第2の光ファイバ2の融着接続を行う。

【0030】すなわち、まず、図2の(a)に示したように、前記放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線Bと前記第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとを略直交させて、放電電極3からの高電圧によって第1、第2の光ファイバ2の接続端面側を約0.1から約0.3mmの狭い加熱領域で加熱して(前記狭域加熱として)融着接続した後、同図の(b)に示したように、放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度 $\theta$ を、直角とは異なる角度に変更することによって、第1、第2の光ファイバ2の接続端面側の加熱領域を広く変更して(前記広域加熱として)放電電極からの高電圧による追加加熱を行う。

【0031】なお、本実施形態例の具体例として、前記モードフィールド径基準値を1ミクロンとし、コア偏心量がほとんどなくモードフィールド径が6ミクロンの第1の光ファイバ2とモードフィールド径が8ミクロンの第2の光ファイバ2を、放電電極3の電極先端1間間隔3mm、放電電極3の電極先端1を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの



成す角度 $\theta$ を45度、直線Bと直線Aとの間隔1.4mmとして、放電電極3から10秒間高電圧を放電して第1、第2の光ファイバ2を融着接続したところ、第1、第2の光ファイバの平均接続損失は0.10dBであった。

【0032】また、比較のために、上記と同様の第1、第2の光ファイバ2を、放電電極3の電極先端1間間隔1.5mm、前記直線Bと直線Aとの成す角度90度、直線Bと直線Aとの間隔0として、放電電極3からの放電により第1、第2の光ファイバ2を融着接続したところ、このときの第1、第2の光ファイバ2の平均接続損失は、放電時間1秒間のときが0.51dB、放電時間10秒間のときが0.25dBであった。したがって、本実施形態例のように、第1、第2の光ファイバ2のモードフィールド径差が1ミクロンより大きいときに前記直線Aと直線Bとの成す角度 $\theta$ を直角とは異なる角度にして前記広域加熱とすることにより、第1、第2の光ファイバ2の接続損失の低減化が図れることが確認された。

【0033】さらに、上記本実施形態例の具体例において、前記直線Aと直線Bとの成す角度 $\theta$ を60度にした場合の第1、第2の光ファイバ2の平均接続損失は0.20dB、前記角度 $\theta$ を10度にした場合の第1、第2の光ファイバ2の平均接続損失は0.08dBとなり、前記角度 $\theta$ を可変することによって第1、第2の光ファイバ2の接続端面側の加熱領域と加熱温度分布を可変し、それにより、第1、第2の光ファイバ2の接続端面の低減化を自在に図れることが確認された。

【0034】本実施形態例によれば、第1の光ファイバ2のモードフィールド径と第2の光ファイバ2のモードフィールド径との差が予め定められたモードフィールド径差基準値以下の時には、放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度を直角として狭域加熱とし、前記第1、第2の光ファイバ2のモードフィールド径差が前記モードフィールド径差基準値よりも大きい時には、第1、第2の光ファイバ2の融着接続時の加熱又は融着接続後の追加加熱を行う時に、前記直線Bと前記直線Aとの成す角度 $\theta$ を直角とは異なる角度に設定して広域加熱とすることにより、第1、第2の光ファイバ2のモードフィールド径差が小さい時には、光ファイバの接続端面近傍の狭い領域のみを加熱溶解して溶解による光ファイバの屈折率構造変化を最小限とし、低い接続損失を得ることができるし、第1、第2の光ファイバ2のモードフィールド径差が大きい時には、光ファイバの接続部の広い領域を緩やかな温度分布で加熱してコアドーパントの拡散効果を十分に発揮させ、低い接続損失を得ることができる。

【0035】そのため、本実施形態例によれば、対の放電電極3から発生する高電圧を用いて、モードフィール

ド径が互いに異なる第1、第2の光ファイバ2同士を非常に低接続損失に融着接続することができる。

【0036】また、本実施形態例によれば、前記第1、第2の光ファイバ2のモードフィールド径差が予め定められたモードフィールド径差基準値よりも大きい時には、第1、第2の光ファイバ2のコア軸心が一致するように第1の光ファイバ2と第2の光ファイバ2を調心した時に生じる第1の光ファイバ2のクラッド軸心と第2の光ファイバ2のクラッド軸心とのずれ量を推定し、この推定ずれ量が予め定められたずれ量基準値よりも大きい時には、前記直線Aと直線Bとを直交させて狭域加熱の条件で融着接続することにより、光ファイバの表面張力によるクラッド軸心のずれが減少する方向への移動を抑制してコア軸心が位置合わせされた状態で融着接続されるようにし、その後、広域加熱による追加加熱によって光ファイバ2のコアドーパント拡散を十分に発揮させることができるために、より一層低接続損失に第1、第2の光ファイバ2を融着接続することができる。

【0037】一方、前記推定ずれ量が前記ずれ量基準値以下の時には、推定ずれ量がずれ量基準値よりも大きい時と同様の方法を用いても良いが、光ファイバ2の表面張力が発生する温度以下でコアドーパントを拡散させるための加熱を行うには、加熱時間を長くする必要があるために、前記推定ずれ量が前記ずれ量基準値以下であって、推定ずれ量がずれ量基準値よりも大きい時に比べて光ファイバ表面張力に伴うコア軸心ずれの影響が少ない時には、光ファイバの融着接続時に始めから広域加熱で融着接続することにより、加熱時間短縮を行うことができる。

【0038】図5には、本発明に係る光ファイバの融着接続方法を適用する光ファイバ融着接続機の別の例が示されている。この光ファイバ融着接続機は、電極支持台4をかさ歯車の形状に形成し、各放電電極3を電極支持台4に対して斜めに取り付けている。また、2つの電極支持台4の間にかさ歯車11を設けて、電極支持台4をかさ歯車11で連結させている。さらに、前記電極支持台4のそれぞれのかさ歯車は回転軸14、15に回転自在に支持されており、各回転軸14、15には図示されていないモータ等の駆動手段が設けられている。

【0039】この光ファイバ融着接続機においては、前記モータ等の駆動手段によって、いずれかの回転軸14、15を回転させると、放電電極3の電極先端1は円弧運動しながら図の下方側に移動する。また、図の左側の電極支持台4と図の右側の電極支持台4とは、かさ歯車11の回転により相反する方向に回転するので、結果として、放電電極3の電極先端1は、この回転によって、図2の(a)に示した状態から(b)に示したような互い違いに配設された状態となる。したがって、図5に示すような光ファイバ融着接続機を用いても上記実施形態例のような光ファイバの融着接続方法を適用するこ

とができる。

【0040】図6には、本発明に係る光ファイバの融着接続方法を適用する光ファイバ融着接続機のさらに別の例が光ファイバ取り付け状態で示されている。なお、同図の(a)にはその平面図が、同図の(b)にはその正面図がそれぞれ示されている。この光ファイバ融着接続機は、コ字形状の電極支持台4を有しており、この電極支持台4の両側にV溝10がそれぞれ通し加工され、各V溝10に、図7に示すような位置決め部13を備えた放電電極3を抜き差し自在に挿入固定して形成されている。

【0041】放電電極3をV溝10に挿入すると、左右両側の対の放電電極3の軸心は互いに一致するようになっており、各放電電極3の電極先端1は放電電極軸心から同図に示すeだけ偏心して形成され、図6の(a)に示すように、電極先端1を互い違いに配設することにより、図2の(b)に示したように、放電電極3の電極先端1を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度 $\theta$ が直角とは異なる角度となるようになっている。

【0042】なお、これらの図には図示されていないが、この光ファイバ融着接続機は、電極先端1が放電電極軸心から偏心させていない、例えば図1、2に示したような放電電極3も備えており、図7に示した放電電極3の代わりに、電極先端1が偏心していない放電電極3を電極支持台4のV溝10に抜き差し自在に挿入固定することもできるようになっている。

【0043】このような光ファイバ融着接続機を用いても、手動により、電極支持台4のV溝10に挿入固定する放電電極3を、図7に示したような、電極先端1が放電電極軸心から偏心した放電電極3としたり、電極先端1が放電電極軸心から偏心していない放電電極3としたりすることにより、放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度 $\theta$ を直角としたり、直角とは異なる角度にしたりすることができるために、上記実施形態例の光ファイバの融着接続方法を適用することができる。

【0044】また、図6に示す光ファイバ融着接続機においては、放電電極3を交換するだけで上記実施形態例の光ファイバの融着接続方法を適用することができるために、光ファイバ融着接続機の機械機構を非常に単純にすることが可能となり、非常に安価の光ファイバ融着接続機とすることができる。なお、図6の装置において、図7に示したような電極先端1が放電電極軸心から偏心した放電電極3を用いるにあたり、電極先端1の位置を適切な位置とするために、位置決め部材13と電極支持台4とにメモリ等の印を付けておくことと便利である。

【0045】なお、本発明は上記実施形態例に限定されることなく様々な実施の態様を採り得る。例えば、上

記実施形態例では、第1、第2の光ファイバ2のモードフィールド径差が予め定められたモードフィールド径差基準値以下の時には、第1、第2の光ファイバ2のコア調心を行った後、放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度を直角として狭域加熱の状態で放電を行って光ファイバ2同士を融着接続したが、前記第1、第2の光ファイバ2のモードフィールド径差が前記モードフィールド径差基準値以下の時にも、前記直線1Bと直線Aとの成す角度 $\theta$ を直角とは異なる角度に設定し、前記広域加熱の状態で放電を行って光ファイバ2同士を融着接続してもよいし、狭域加熱の状態で放電を行った後、前記直線Bと直線Aとの成す角度 $\theta$ を垂直とは異なる角度に変更して追加加熱を行って、光ファイバ2のコアドーパント拡散を行うようにしてもよい。

【0046】また、上記実施形態例では、第1、第2の光ファイバ2のモードフィールド径差が前記モードフィールド径差基準値よりも大きい時には、第1、第2の光ファイバ2のコア偏心量をそれぞれ測定し、この測定結果に基づいて、第1、第2の光ファイバ2のコア軸心が一致するように第1の光ファイバ2と第2の光ファイバ2を調心した時に生じる第1の光ファイバ2のクラッド軸心と第2の光ファイバ2のクラッド軸心とのずれ量を推定し、この推定結果に基づいて、第1、第2の光ファイバ2の融着接続方法を決定したが、前記コア偏心量の測定およびクラッド軸心のずれ量の推定動作を省略し、前記モードフィールド径差が前記モードフィールド径差基準値よりも大きい時には、放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度 $\theta$ を直角とは異なる角度に設定して、前記広域加熱の状態で放電を行って光ファイバ2同士を融着接続してもよい。

【0047】また、上記と同様に、前記モードフィールド径差が前記モードフィールド径差基準値よりも大きい時に、前記コア偏心量の測定およびクラッド軸心のずれ量推定動作を省略し、放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度 $\theta$ を直角に設定し、狭域加熱加熱の状態で放電行って光ファイバ2同士を融着接続した後、前記直線Bと前記直線Aとの成す角度 $\theta$ を直角とは異なる角度に変更し、前記広域加熱の状態で放電電極3を行って光ファイバ2同士の追加加熱を行い、光ファイバ2コアドーパント拡散を行うようにしてもよい。

【0048】さらに、第1、第2の光ファイバ2のモードフィールド径が互いに異なる場合には、第1、第2の光ファイバ2のモードフィールド径差を推定することなく、その値が如何なる値であっても、放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度 $\theta$ を直角とは異なる角度に設定し、前記広域加熱の状態で放電を行って



光ファイバ2同士を融着接続してもよい。

【0049】さらに、第1、第2の光ファイバ2のモードフィールド径が互いに異なる場合には、第1、第2の光ファイバ2のコア径の測定およびモードフィールド径の推定などを行うことなく、放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線と第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線とを略直交させて、放電電極3からの高電圧によって第1、第2の光ファイバ2の接続端面側を約0.1から約0.3mmの狭い加熱領域で加熱して融着接続した後、放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度 $\theta$ を直角とは異なる角度に変更することによって、第1、第2の光ファイバ2の接続端面側の加熱領域を広く変更して放電電極3からの高電圧による追加加熱を行うようにしてもよい。

【0050】さらに、例えば図6に示したような光ファイバ融着接続機を用いて本発明の光ファイバの融着接続方法を適用する場合に、光ファイバ融着接続機にセットする放電電極3の形状を、例えば図8の(a)に示すように、円筒形状の電極棒先端を斜めに切り落とした形状の放電電極3としてもよいし、同図の(b)に示すように、電極棒の途中を曲げることによって、同図のeに示すように、電極先端1を放電電極軸心から偏心させたものとしてもよい。

【0051】さらに、本発明の光ファイバの融着接続方法は、放電電極3の電極先端1間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバ2の接続端面軸心間を結ぶ直線Aとの成す角度 $\theta$ を直角とは異なる様々な角度に可変設定することにより、第1、第2の光ファイバ2の接続端面側の加熱領域と加熱温度分布を可変設定することができるし、前記角度 $\theta$ を放電電極3からの放電中に時系列的に可変することにより、第1、第2の光ファイバ2の接続端面側の加熱領域と加熱温度分布を時系列的に可変することもできるものであり、前記角度 $\theta$ の値は特に限定されるものではなく、適宜設定されるものである。

【0052】さらに、上記実施形態例では、第1、第2の光ファイバ2は、互いにモードフィールド径が異なる光ファイバとしたが、本発明の光ファイバの融着接続方法は、第1の光ファイバのモードフィールド径と第2の光ファイバのモードフィールド径が等しい光ファイバを融着接続する場合にも適用されるものである。

【0053】

【発明の効果】本第1の発明によれば、第1、第2の光ファイバの接続端面側に高電圧を加える対の放電電極先端間を結ぶ直線と前記第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線との成す角度が直角とは異なる角度になるように、放電電極と第1、第2の光ファイバを配設して放電電極から高電圧を発生させるものであるから、放電電極先端間を結ぶ直線と第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線とを直交させて放電電極

から高電圧を発生させる場合に比べ、光ファイバの接続端面側の加熱領域を広くし、加熱温度分布を緩やかにすることができる。

【0054】そのため、例えば本第2の発明のように、第1の光ファイバと第2の光ファイバを互いにモードフィールド径が異なる光ファイバとした時に、光ファイバの接続端面側の加熱領域を広く、加熱温度分布を緩やかにして、光ファイバのコアドーパント拡散の効果を十分に発揮させ、光ファイバ同士を低接続損失に融着接続することができる。

【0055】また、放電電極先端間を結ぶ直線と第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線との成す角度を可変することにより第1、第2の光ファイバの接続端面側の加熱領域と加熱温度分布を可変する本第3の発明によれば、放電電極先端間を結ぶ直線と第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線との成す角度を、第1、第2の光ファイバの種類やモードフィールド径差等に対応させて適切な値に可変設定したり、放電の途中に可変したりすることにより、第1、第2の光ファイバの接続端面側の加熱領域と加熱温度分布を適切に可変して、光ファイバ同士を低接続損失に融着接続することができる。

【0056】さらに、前記放電電極先端間を結ぶ直線と前記第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線とを略直交させて該放電電極からの高電圧によって第1、第2の光ファイバの接続端面側を約0.1から約0.3mmの狭い加熱領域で加熱して融着接続した後、該放電電極先端間を結ぶ直線と前記第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線との成す角度を直角とは異なる角度に変更することによって第1、第2の光ファイバの接続端面側の加熱領域を広く変更して放電電極からの高電圧による追加加熱を行う本第4の発明によれば、第1、第2の光ファイバの接続端面側を狭い加熱領域で加熱して融着接続することにより、加熱溶解に伴う光ファイバ屈折率構造変化により生じる光損失を抑制し、且つ、第1、第2の光ファイバの接続端面側の加熱領域を広く偏向して追加加熱を行うことにより、光ファイバのコアドーパント拡散効果等を十分に発揮し、例えば互いにモードフィールド径が異なる光ファイバ同士の接続を非常に低接続損失にすることができる。

【0057】さらに、放電電極先端間を結ぶ直線と前記第1、第2の光ファイバの接続端面軸心間を結ぶ直線との成す角度を直角とは異なる角度に設定することによって第1、第2の光ファイバの接続端面側の加熱領域を約0.3mmよりも広く設定して放電電極からの高電圧による加熱を行う本第5の発明によれば、モードフィールド径が互いに異なる第1と第2の光ファイバの接続を、その接続端面側の加熱領域を約0.3mmよりも広く設定して加熱して行うことにより、非常に効率的に光ファイバのコアドーパント拡散を行い、光ファイバ同士を低



接続損失に融着接続することができる。

【0058】さらに、第1、第2の光ファイバの各コア径をそれぞれ測定し、該測定結果に基づいて第1、第2の光ファイバの各モードフィールド径をそれぞれ推定し、該推定結果に基づき第1の光ファイバのモードフィールド径と第2の光ファイバのモードフィールド径との差が予め定められたモードフィールド径差基準値よりも大きい時、本第4又は第5の発明の光ファイバの融着接続方法を行う本第6の発明によれば、第1、第2の光ファイバのモードフィールド径差が大きく、コアドーパント拡散による光ファイバの接続損失低減化を最も必要とする光ファイバ同士の融着接続に際し、コアドーパント拡散による光ファイバの接続損失低減化を図ることができるために、非常に確実に、光ファイバ同士を低接続損失に接続することができる。

【0059】さらに、第1、第2の光ファイバのモードフィールド径差が予め定められたモードフィールド径差基準値よりも大きい時に、第1、第2の光ファイバのコア偏心量に応じて本第4の発明又は第5の発明の光ファイバの融着接続方法を用いる本第7の発明によれば、光ファイバのコア偏心量が大きく、光ファイバ融着接続に際して、光ファイバの表面張力による移動量が大きくなる場合には光ファイバの加熱領域を狭くしてその移動を最小限に抑制した後、光ファイバのコアドーパント拡散を行い、確実に光ファイバ同士を低接続損失に融着接続することができるし、前記コア偏心量が小さく、前記光ファイバの表面張力による移動があまりなく、この移動によるコアずれがあまりない時には、始めから光ファイバを広域加熱してより効率的にコアドーパント拡散を行い、光ファイバ同士を低接続損失に融着接続することができる。

【0060】さらに、放電電極は先端が尖った棒状の電極とし、対の放電電極の軸心を互いに一致させ、かつ、該放電電極の先端を放電電極軸心から偏心させることにより該放電電極先端を結ぶ直線と第1、第2の光ファイバの接続端面を結ぶ直線との成す角度が直角とは異なる角度になるようにする本第8の発明によれば、例えば放電電極の先端が放電電極軸心から偏心していない放電電

極を備えた光ファイバ融着接続機の構成を利用し、放電電極を放電電極先端が放電電極軸心から偏心した放電電極に変えるだけで放電電極先端を結ぶ直線と第1、第2の光ファイバの接続端面を結ぶ直線との成す角度が直角とは異なる角度になるようにすることができるために、非常に簡単に、従来の光ファイバ融着接続機を用いて本発明の光ファイバ融着接続方法を適用する光ファイバ融着接続機を構成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る光ファイバの融着接続方法を適用する光ファイバ融着接続機の一例を示す要部構成図である。

【図2】本発明に係る光ファイバの融着接続方法の一実施形態例の説明図である。

【図3】放電電極の電極先端を中心としたエネルギー密度分布状態の説明図である。

【図4】放電電極先端間を結ぶ直線Bと第1、第2の光ファイバを結ぶ直線Aとの位置関係により異なる光ファイバの加熱領域のエネルギー密度分布の違いを示す説明図である。

【図5】本発明に係る光ファイバの融着接続方法を適用する光ファイバ融着接続機の別の例を示す要部構成図である。

【図6】本発明に係る光ファイバの融着接続方法を適用する光ファイバ融着接続機のさらに別の例を示す要部構成図である。

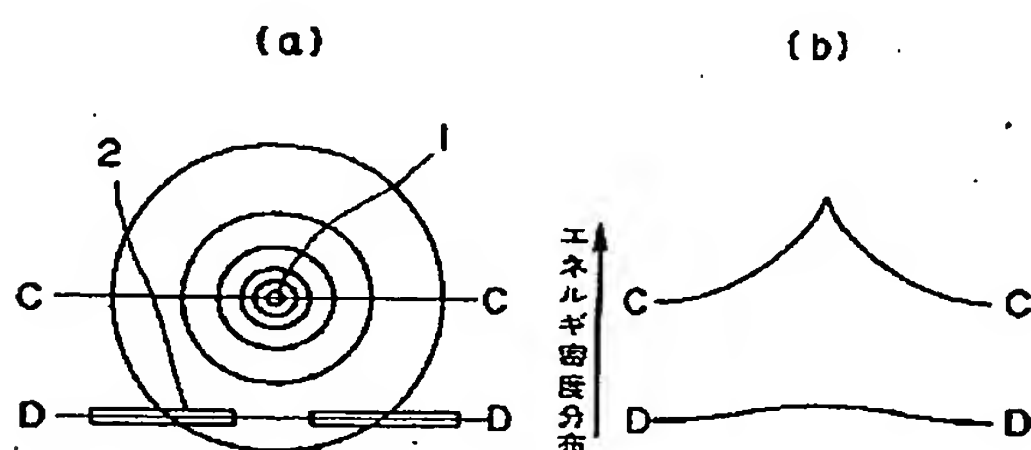
【図7】図6に設けられる放電電極の一例を示す説明図である。

【図8】図6の光ファイバ融着接続機に用いられる放電電極の別の例を示す説明図である。

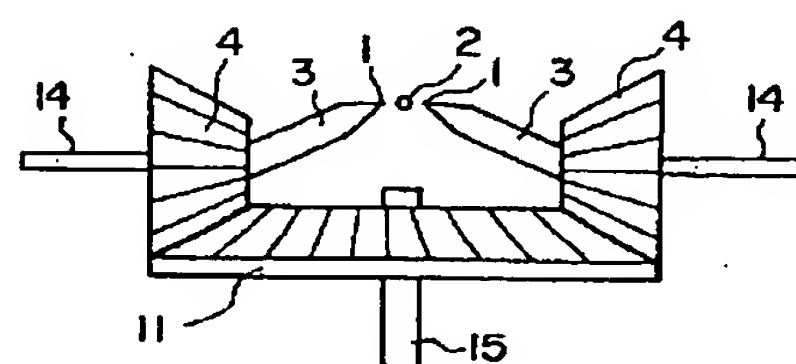
【符号の説明】

- 1 電極先端
- 2 光ファイバ
- 3 放電電極
- 4 電極支持台
- 5 直動ガイド
- 9 放電領域

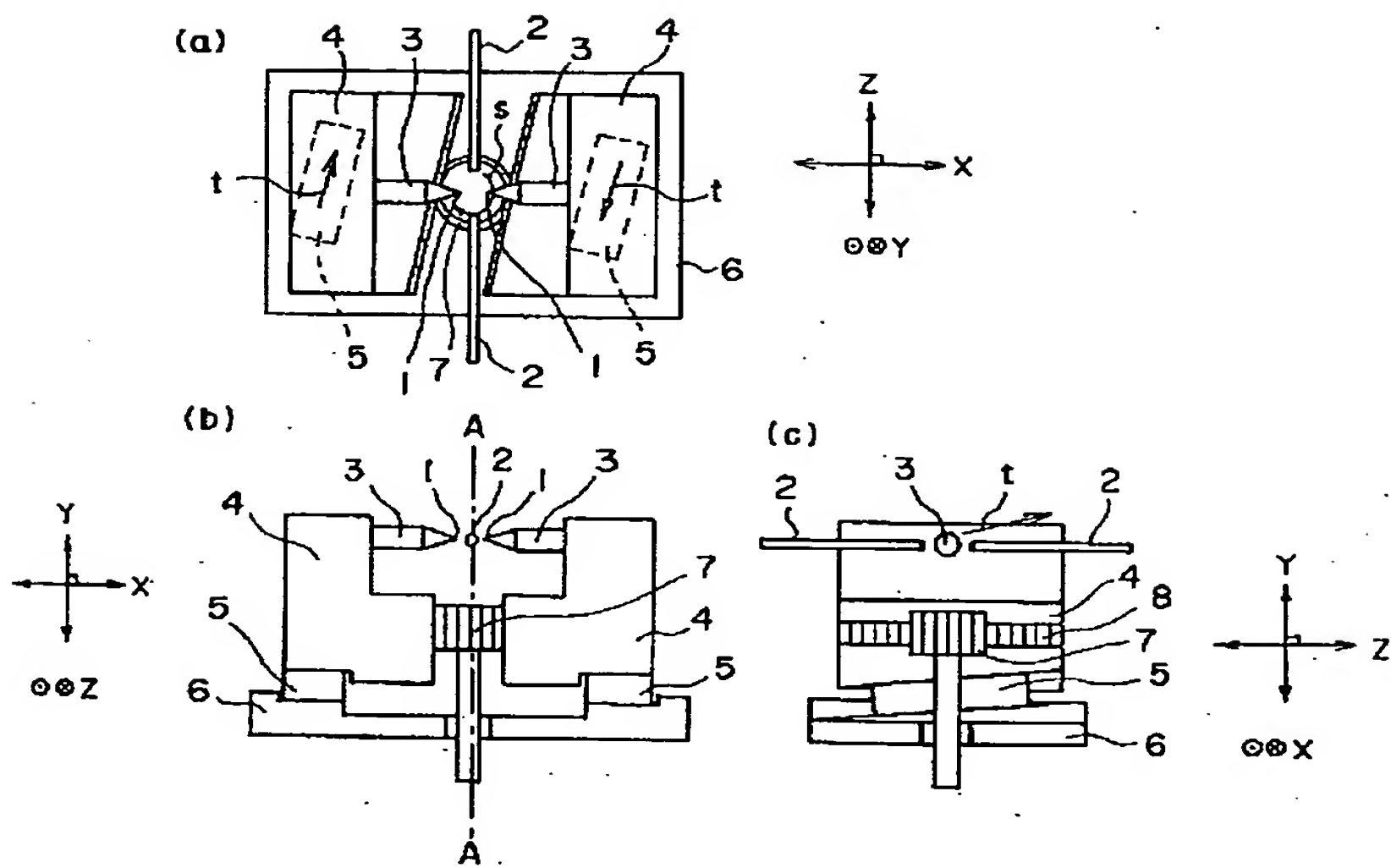
【図3】



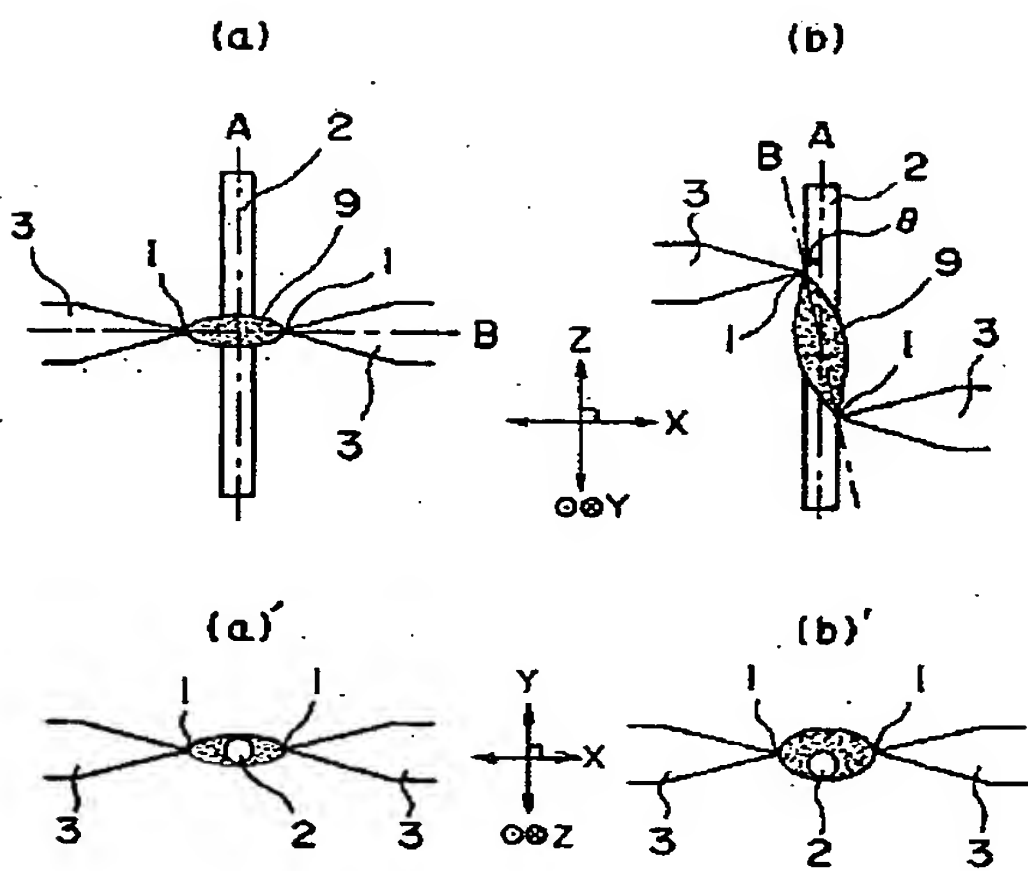
【図5】



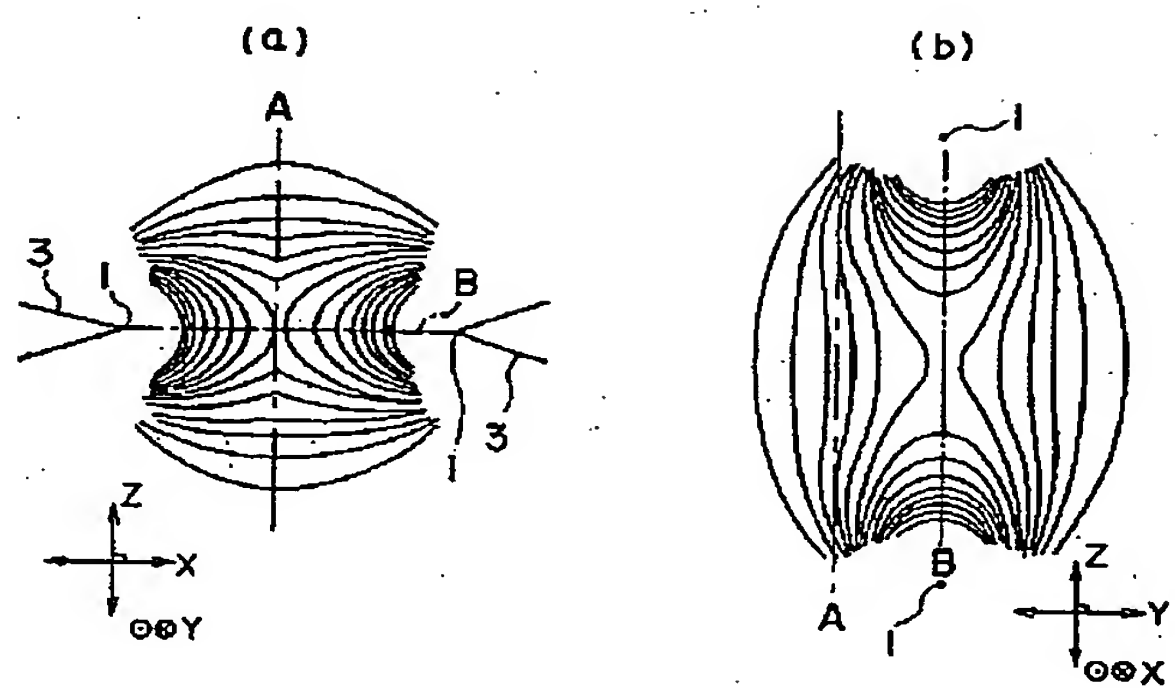
【図1】



【図2】

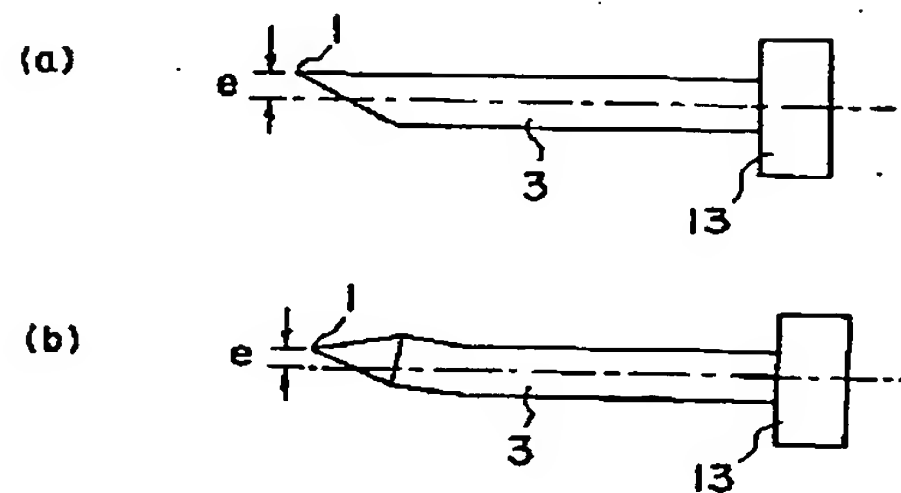
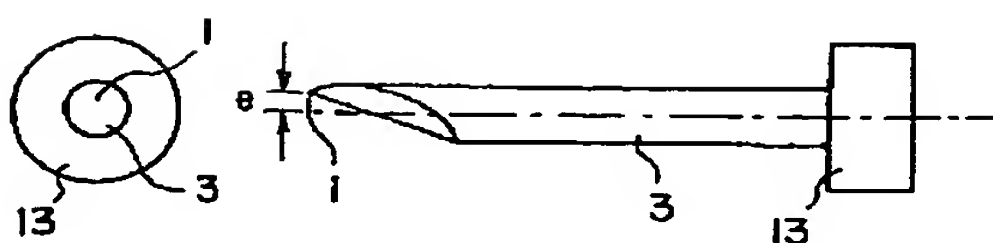


【図4】



【図8】

【図7】





【図6】

